MENOUFIA JOURNAL OF
FOOD AND DAIRY SCIENCES

https://mjfds.journals.ekb.eg

الأنثوسيانين في الفواكه والخضروات: الاستخلاص، التوصيف والفوائد الصحية: مراجعة

مهند مهدي جمعه جندل[1]، احمد حمد محمد جندل[2]، اثير جاسم محمد جندل[2]

[1] قسم علوم وتكنولوجيا الاغذية، كلية علوم الاغذية/ الشرقاط، جامعة تكريت، صلاح الدين– الشرقاط، العراق.

[2] قسم علوم وتكنولوجيا الالبان، كلية علوم الاغذية/ الشرقاط، جامعة تكريت، صلاح الدين– الشرقاط، العراق

Received: May 20, 2025 Accepted: Jun. 16, 2025

المستخلص

الأنثوسيانينات هي أصباغ نباتية تنتمي إلى مجموعة الفلافونويدات، والمسئولة عن الألوان الزاهية في العديد من الخضروات والفواكه والحبوب. تتكون هذه المركبات من نواة الفلافينيوم والتي تتنوع بنيتها الكيميائية تبعاً لطبيعة المجموعات الوظيفية المرتبطة بها مثل الميثوكسيل والهيدروكسيل، والتي تؤثر على لونها وثباتها. تعد الفواكه (مثل التوت الأزرق والتوت الأحمر والتوت البري والتوت الأسود والفراولة، والكرز والعنب الأحمر والأسود والبرقوق الأسود والأحمر) والخضراوات (مثل الملفوف الأحمر والبصل الأحمر والباذنجان والبطاطس الأرجوانية والجزر الأرجواني والكرنب الأرجواني) والحبوب (مثل الأرز الأسود والذرة الأرجوانية وفول الصويا السوداء) مصادر غنية بالأنثوسيانينات. حيث تمتلك هذه المركبات نشاطاً مضاداً للأكسدة لها القدرة على إزالة أو تقليل الجذور الحرة. أظهرت الأنثوسيانينات فوائد صحية متعددة مثل تقليل خطر الإصابة بالأمراض القلبية وتحسين الوظائف الإدراكية والحد من الالتهابات، كما تسهم في تنظيم مستوى الجلوكوز في الدم. وشملت الدراسة أيضا الطرق المختلفة لاستخلاص الانثوسيانين (الاستخلاص بالمذيبات، الاستخلاص بالموجات فوق الصوتية، الاستخلاص بمساعدة الميكروويف، الاستخلاص بمساعدة الإنزيمات).

الكلمات المفتاحية: الأنثوسيانين، النشاط المضاد للأكسدة، استخلاص الأنثوسيانين، تحليل الأنثوسيانين الكمي.

المقدمة

تُنتج سنوياً كميات هائلة من النفايات الزراعية حول العالم، مما تسبب آثاراً سلبية على البيئة. وتُقدر الخسائر العالمية الكلية حوالي 1.3 مليار طن سنوياً، بقيمة تُقارب 1000 مليار دولار. لذا أن استراتيجيات تثمينها تُعتبر الخيار الأكثر فعالية لتقليل انتاج النفايات (Capanoglu *et al.*,2022). تُعدّ المخلفات الزراعية والغذائية مصادر غنية بالمركبات الكيميائية النباتية ذات القيمة الغذائية العالية، مما يسمح باستخدامها في كثير من الصناعات مثل مستحضرات التجميل والأدوية والأغذية. وقد أُجريت كثير من الأبحاث لدراسة تقييم هذه المخلفات التي تحتوي على كميات وفيرة من المركبات الكيميائية النباتية والتي توجد في البذور والقشور والأوراق، وذلك للاستفادة منها في التطبيقات الصناعية (Alwazeer *et al.*, 2023). أظهرت الدراسات أن اتّباع نظام غذائي متوازن غني بالمركبات الكيميائية النباتية يقلل من خطر الإصابة بالأمراض المزمنة، مثل بعض أنواع السرطان وأمراض القلب والأوعية الدموية والاضطرابات العصبية. لذلك، يُعد التقييم الكيميائي لهذه المركبات ضرورياً لتحديد فوائدها الصحية. لذا تُعدّ المركبات الفينولية مثل الفلافونويدات والأنثوسيانينات والعفص من المركبات الرئيسية المضادة للأكسدة، والتي يمكنها تحييد الجذور الحرة وإحداث تأثيرات بيولوجية إيجابية (Abdelrahman *et al.*, 2024; Hassanin *et al.*, 2020). الأنثوسيانينات هي جلوكوسيدات مشتقة من الأنثوسيانيدينات، وهي فلافونويدات تُنتج في مسار فينيل بروبانويد. وتوجد هذه المركبات في الأوراق والسيقان والجذور والأزهار والثمار، وتشمل الأنثوسيانيدينات ست أنواع هي: الدلفينيدين والسيانيدين وبيلارجونيدين والبيتونيدين والفايونيدين والمالفيدين (Mattioli *et al.*, 2020). تُستخدم صبغة الأنثوسيانين على نطاق واسع كملوّنات غذائية طبيعية. إلا أن لونها وثباتيتها تتأثران بعدة عوامل منها الضوء ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة. في درجات الحموضة الحامضية، تبدو الأنثوسيانين حمراء

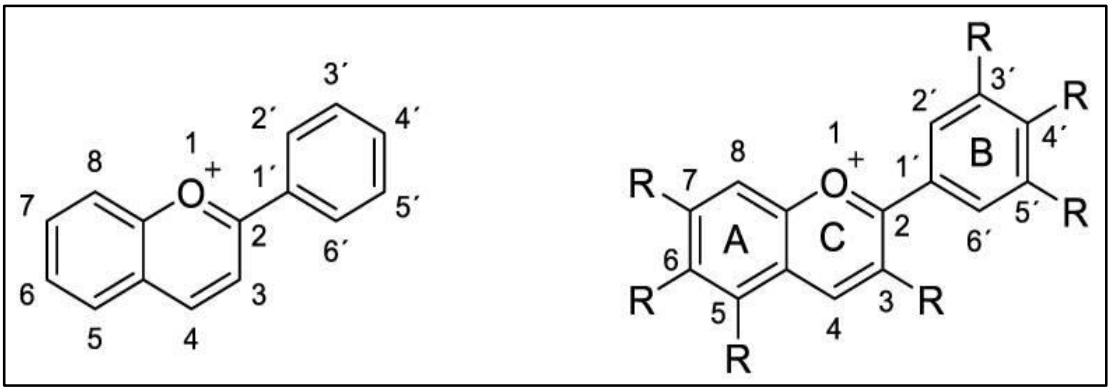
*Corresponding author: mohanad.m.jumaa91@tu.edu.iq

اللون، بينما تتحول إلى اللون الأزرق في الأوساط القاعدية. مع ذلك، تكون الأنثوسيانينات غير مستقرة في الظروف القاعدية، حيث تتحلل إلى مركبات مؤكسدة ذات لون بني داكن (Khoo *et al.*, 2017). تتميز الأنثوسيانينات بخصائصها المضادة للأكسدة والالتهابات، وان أضافتها في الغذاء اليومي يُعزز من صحة القلب، ويُحسن الوظائف الإدراكية، ويُقلل من خطر السمنة. تعد الأنثوسيانينات مضافات طبيعية آمنة للاستهلاك البشري، حسب هيئة الدستور الغذائي والتي تحمل الرمز E163. لذا يمكن استخدامها كمادة ملونة غذائية في المشروبات والأغذية المختلفة بشرط استيفائها المعايير المطلوبة (Albuquerque *et al.*,2024). ان المصادر الأكثر شيوعاً للأنثوسيانين هي الفواكه ذات اللون الأحمر الأرجواني، مثل العنب والتوت الأزرق والتوت الأسود والتوت البري والذرة الأرجوانية (Munekata *et al.*,2023; Boateng *et al.*,2023). يتزايد استخراج الأنثوسيانين من مخلفات الطعام ومنتجاته الثانوية، بفضل استخدام التقنيات الحديثة في الاستخلاص مثل المذيبات الخضراء والتقنيات الموفرة للطاقة. تُعزز هذه الطرق المستدامة إنتاج صبغات طبيعية بكفاءة عالية (Campalani *et al.*, 2020; Munekata *et al.*, 2023).

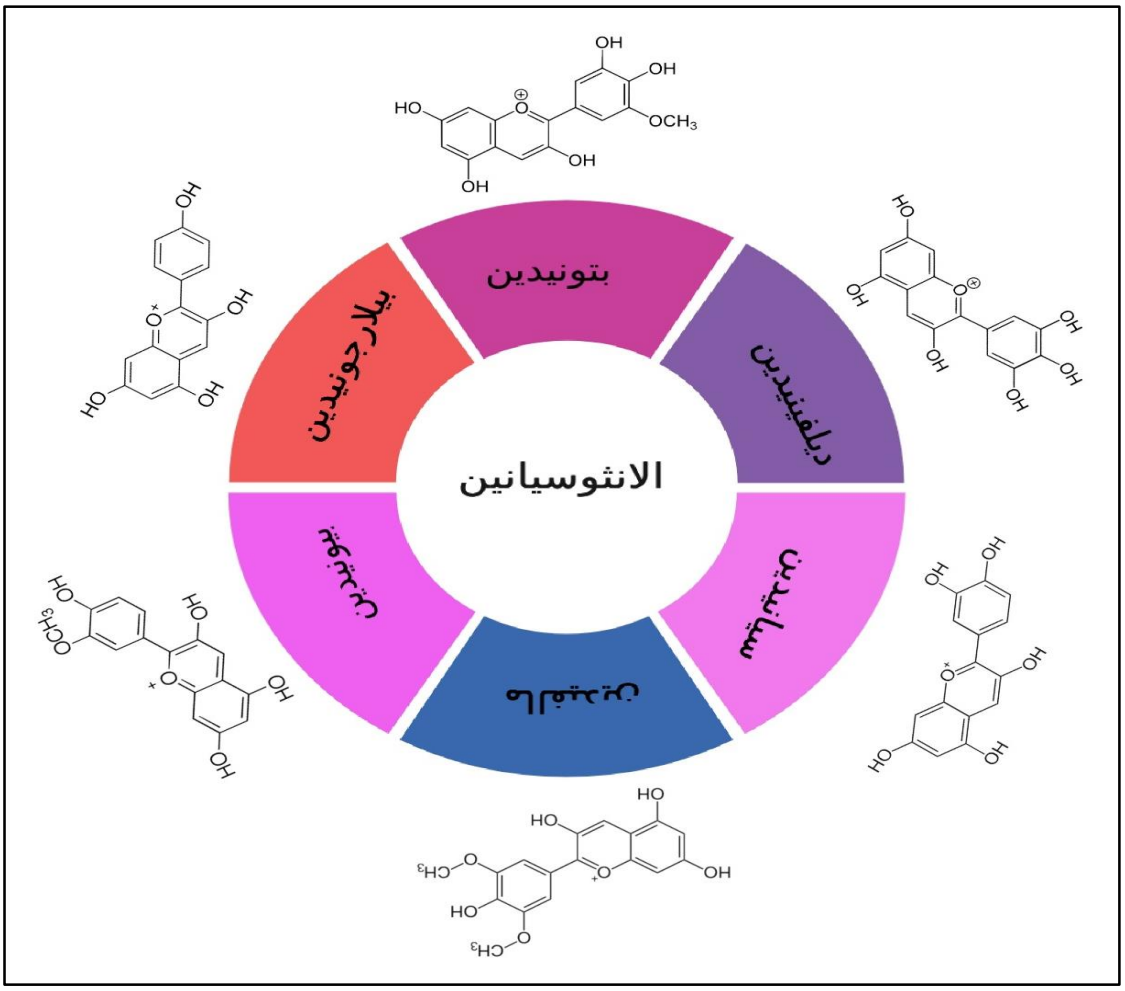
يهدف هذا البحث إلى دراسة الأنثوسيانينات كأصباغ نباتية ذات خصائص مضادة للأكسدة وفوائد صحية متعددة، مع التركيز على مصادرها الطبيعية وطرق استخلاصها المختلفة مثل الاستخلاص بالمذيبات والموجات فوق الصوتية والميكروويف والإنزيمات. كما يتناول البحث تأثير تركيبها الكيميائي على فعاليتها واستقرارها.

التركيب الكيميائي للأنثوسيانينات

الأنثوسيانينات هي مجموعة من الأصباغ الطبيعية التي تذوب في الماء وتنتمي إلى فئة الفلافونويدات، تتكون الأنثوسيانينات كيميائياً من هيكل أساسي يعرف بالانثوسيانيدين الذي يتكون من حلقة عطرية بنزوبيريليوم تحتوي على ذرتي أوكسجين. ويحتوي الهيكل على ثلاث حلقات هي الحلقة A (حلقة بنزينية) وحلقة B (حلقة بنزينية أخرى مرتبطة بمجموعات هيدروكسيل او ميثوكسيل) وحلقة C (حلقة بيريليوم تحتوي على الاوكسجين). ترتبط الانثوسيانيدينات بجزيئات سكر (الكلوكوز او الارابينوز او الغالاكتوز) في الموقع 3 او 5 في الحلقة C مما يشكل الانثوسيانين الكامل (الشكل ١) (Castañeda-Ovando *et al.*, 2009; Dong *et al.*, 2022). تختلف الأنثوسيانيدينات بناءً عدد مجموعات الميثوكسيل والهيدروكسيل في الحلقة B ، وتشمل السيانيدين، البيلارجونين، الدلفينيدين، البيونيدين، البيتونيدين والمالفيدين (الشكل 2) (Manolescu *et al*., 2019). يظهر السيانيدين بصبغة ارجوانية محمرة، وتوجد في التوت والبطاطا الحمراء والذرة الأرجوانية. بينما يتميز الدلفينيدين بصبغة زرقاء محمرة أو ارجوانية وهي المسؤولة عن اللون الأزرق للأزهار. أما البيلارجونين تظهر صبغة حمراء فاتحة أو برتقالي مثل التوت الأحمر. في حين يتميز البيتونيدين باللون الأزرق الداكن أو الأرجواني مثل التوت الأسود وبعض أنواع العنب. أما المالفيدين فيميل إلى اللون الأرجواني أو الأزرق. في حين يظهر البيونيدين باللون الأحمر المائل إلى الأرجواني ويوجد في التوت البري والعنب (Khoo *et al.*, 2017).

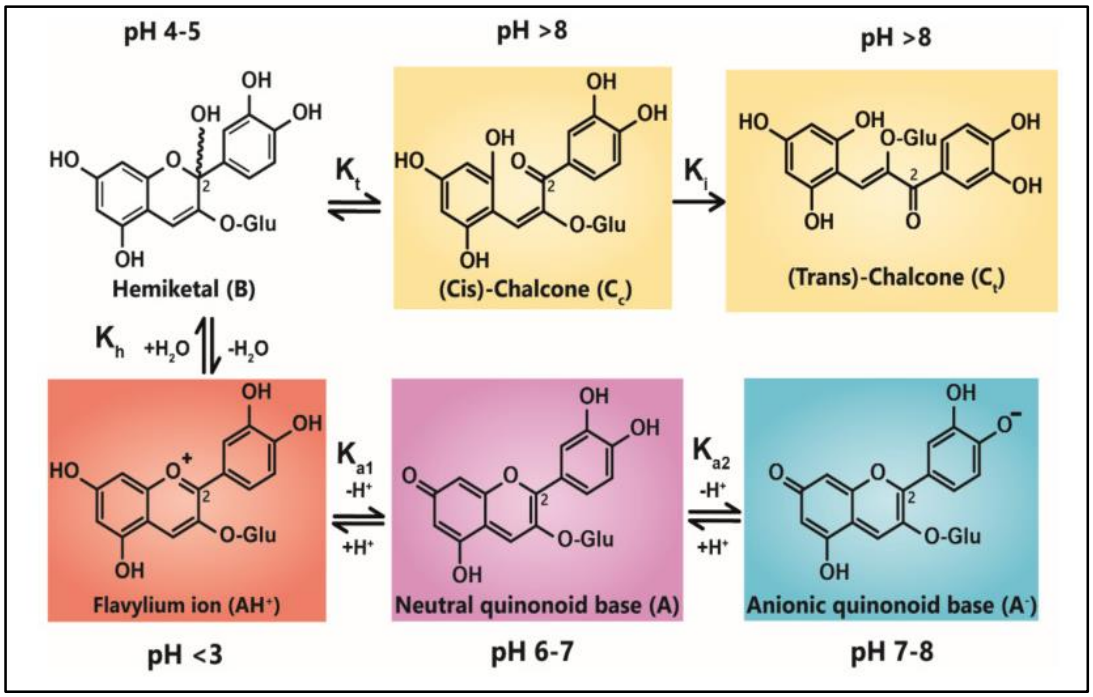


الشكل (1): يوضح التركيب الأساسي للأنثوسيانين



الشكل (2): يوضح الأنواع المختلفة من الأنثوسيانيدينات

يتغير لون الأنثوسيانيدينات تبعاً لقيمة الرقم الهيدروجيني (pH)، وتظهر باللون الأحمر عندما يكون الرقم الهيدروجيني أقل من 7، وبنفسجي بين 7 و8، وأزرق عندما يتجاوز الرقم الهيدروجيني 11 (الشكل 3) (Sasaki *et al.* 2015; Zhao *et al.* 2017). تؤدي إضافة مجموعات الهيدروكسيل إلى الحلقة B إلى زيادة الحد الأقصى لامتصاص الأنثوسيانينات (λ max بوحدة نانومتر) في الطيف المرئي تحت ظروف معينة. على سبيل المثال، تبلغ قيم λ المرئية للبيلارجونيدين-3-جلوكوزيد، والسيانيدين-3-جلوكوزيد، والدلفينيدين-3-جلوكوزيد 510 نانومتر، و530 نانومتر، و543 نانومتر، على التوالي، عند قياسها في محلول الميثانول المحمض 1% من حمض الهيدروكلوريك (Santiago *et al.*, 2014).



الشكل 3: التحول البنيوي للسيانيدين-3-O-جليكوسيد كدالة على الرقم الهيدروجيني (Houghton *et al.*, 2021).

مصادر الأنثوسيانين في الفاكهة والخضراوات والحبوب

تتواجد الأنثوسيانينات طبيعياً في بعض الفواكه والخضروات والحبوب، وتكون مسؤولة عن الألوان الزاهية لهم مثل اللون الأحمر والأرجواني والأزرق، توجد الأنثوسيانينات في الفواكه مثل: التوت الأزرق، التوت الأحمر، الفراولة، التوت الأسود، التوت البري، الكرز، العنب الأحمر أو البنفسجي والبرقوق الأسود والأحمر، أما في الخضراوات تشمل (الملفوف الأحمر، البصل الأحمر، الباذنجان، البطاطس الأرجوانية, الجزر الأرجواني والكرنب الأرجواني) (Gachovska *et al.*, 2010)، وتوجد أيضا في الحبوب مثل: الأرز الأسود, الذرة الأرجوانية وفول الصويا السوداء، والتي تحتوي على كميات كبيرة من الأنثوسيانين (الجدول 1) (Ito and Lacerda ,2019; Šimerdová *et al.*, 2021).

طرق قياس النشاط المضاد للأكسدة

يعد الإجهاد التأكسدي العامل الرئيسي في تطور السرطان والسكري وتصلب الشرايين والعديد من الأمراض المزمنة الأخرى (Lila, 2004). حيث تلعب مضادات الأكسدة دورا ضرورياً لحماية صحة الإنسان، في حين اظهرت مضادات الأكسدة الاصطناعية مخاطر سمية عالية، مما أدى إلى زيادة الاهتمام بمضادات الأكسدة الطبيعية (Ockermann *et al.*, 2021). في السنوات الأخيرة، حظيت الأنثوسيانينات الموجودة في الفواكه والخضار وبعض الحبوب باهتمام بحثي متزايد. وقد أظهرت الدراسات أن لهذه المركبات فوائد صحية متعددة منها إزالة الجذور الحرة، وخصائص مضادة للأورام، وخفض الدهون، وحماية الكبد، كما أنها تحمي من أمراض القلب والأوعية الدموية وداء السكري (Diaconeasa *et al.*, 2015; Yudina *et al.*, 2021). ويبين الجدول (2) الاختبارات المستخدمة لتقدير النشاط المضاد للأكسدة للأنثوسيانين في بعض الفواكه والخضراوات والحبوب.

الجدول 1: تركيب الأنثوسيانين في الفواكه والخضراوات المختلفة

العينات	نوعها	الأنثوسيانينات الرئيسية	محتوى الأنثوسيانينات (ملغ/100غم)	المراجع
البرقوق	برقوق جوجو	سيانيدين-3-غالاكتوزيد	5.6	(Usenik et al., 2013)
	برقوق فالور	يانيدين-3-غلوكوزيد	23.4	(Trendafilova et al., 2022)
التوت	توت أسود	سيانيدين-3-جلوكوزيد	138.72	(Olivas-Aguirre et al., 2016)
	توت أزرق	مالفيدين-3-جلوكوزيد	85–270	(Padmanabhan et al., 2016)
	توت تشوك بيري	بيلارجونين-3-جلوكوزيد	47.2	(Jakobek et al., 2007a)
	توت البلسان	سيانيدين-3-جلوكوزيد	794.1	(Jakobek et al., 2007b)
	فراولة	بيلارجونين-3-جلوكوزيد	335.08	(Fernández-Lara et al., 2015)
	توت الغراب	سيانيدين-3-غالاكتوزيد	0.804	(Ogawa et al., 2008)
الكرز	الكرز الحلو	سيانيدين-3-O-روتينوسيد	143.3	(Kent et al., 2018)
	الكرز الأسود	سيانيدين-3-O-غلوكوزيد	43.6	(Kent et al., 2018)
	الكرز الحامض	سيانيدين-3-O-غلوكوزيل-روتينوسيد	3–44	(Manolescu et al., 2019)
التفاح	التفاح الاحمر	سيانيدين-3-جلوكوزيد	36.1	(Zhang et al., 2020)
الرمان	بونيكا جراناتوم	دلفيدين-3،5-ديجلوكوزيد	54.5	(Gardeli et al., 2019)
		سيانيدين-3،5-ديجلوكوزيد	104.3	(Gardeli et al., 2019)
		بيلارجونين-3،5-ديجلوكوزيد	9.8	(Gardeli et al., 2019)
		دلفيدين-3-جلوكوزيد	35.5	(Gardeli et al., 2019)
الخضروات	جزر أسود	سيانيدين-3-غالاكتوزيد	18.85	(Ersus and Yurdagel, 2007)
	بصل أحمر	سيانيدين-3-(6″-مالونيل جلوكوزيد)	1.6	(Pérez-Gregorio et al., 2010)
	ملفوف أحمر	سيانيدين-3،5-ديجلوكوزيد	31.0	(Gachovska et al., 2010)
	خس أحمر	سيانيدين-3-(6″-مالونيل جلوكوزيد)	200	(DuPont et al., 2000)
	ورق بلوط أحمر	سيانيدين-3-(6″-مالونيل جلوكوزيد)	400	(DuPont et al., 2000)

الجدول (2): يوضح الطرق المستخدمة في تقييم النشاط المضاد للأكسدة.

Bioassay	المبدأ الأساسي	الطول الموجي (nm)	طرق الاختبار
DPPH	إزالة الجذور الحرة($DPPH^{\bullet+}$)	517	مطيافية الامتصاص (Spectrophotometric)
ABTS	إزالة الجذور الحرة($ABTS^{\bullet+}$)	415	قياس اللونية(Colorimetric)
FRAP	اختزال Fe^{3+} إلى Fe^{2+}	593	قياس اللونية(Colorimetric)
ORAC	منع أكسدة الفلوريسئين بواسطة الجذور الحرة	fluorescence	مطيافية الفلورة (Fluorescence spectroscopy)
CUPRAC	اختزال Cu^{2+} إلى Cu^{+}	450	مطيافية الامتصاص (Spectrophotometric)

- DPPH: ثنائي فينيل-1- بيكريل هيدرازيل
- ABTS: [2,2′-أزينو-بيس (3-إيثيل بنزوتيازولين-6-حمض السلفونيك) ثنائي أمونيوم]
- FRAP: القدرة المضادة للأكسدة المختزلة للحديد
- ORAC: قدرة امتصاص الجذور الحرة للأكسجين
- CUPRAC: القدرة المضادة للأكسدة لاختزال أيون النحاس

الفوائد الصحية للأنثوسيانين

تعتبر الفلافونويدات من المركبات الحيوية التي تؤدي الى العديد من الوظائف الوقائية ضد البكتريا والفطريات والفايروسات (Mattioli *et al.,* 2020). وتعد الأنثوسيانينات أحد مركبات الفلافونويدات الطبيعية التي تتواجد في الأوراق والزهور والبذور والفواكه (Câmara *et al.,* 2022). بالإضافة إلى وظائفها النباتية، تتميز الأنثوسيانينات بفوائدها الصحية، إذ أظهرت الدراسات أن لها نشاطا مضادا للأكسدة حيث تسهم في مكافحة الجذور الحرة مما يؤدي إلى تقليل من الأضرار التأكسدية

(Zhang and Zhu, 2023). وفي دراسة حديثة أظهرت النتائج أن المزيج الطبيعي بين البيوفلافونويدات وفيتامين ج في الحمضيات عزز من مقاومة الإجهاد التأكسدي الناتج عن العوامل الأيضية (Chen *et al.,* 2022). وبينت نتائج دراسة قام بها Das وآخرون (2020) أن دمج الخضراوات والفواكه الغنية بالانثوسيانين ضمن النظام الغذائي اليومي يساهم بفعالية كبيرة في الوقاية من الأمراض المرتبطة بالإجهاد التـأكسدي مع تحقيق فوائد صحية كبيرة عند استهلاكها مجتمعة مقارنة عند تناولها بشكل منفصل.

1- صحة القلب والأوعية الدموية

تُعد أمراض القلب والأوعية الدموية السبب الرئيسي للعديد من الوفيات في مختلف أنحاء العالم، حيث أشارت الدراسات إلى أن الاستهلاك اليومي للفواكه والخضراوات الغنية بالأنثوسيانين يساهم في التقليل من أمراض القلب والأوعية الدموية, ويُعزى ذلك إلى دورها الإيجابي على استقلاب الدهون، وتقليل ترسبها، وتحسين وظيفة بطانة الأوعية الدموية، وخفض ضغط الدم (Mattioli *et al.*, 2020; Liu *et al.,* 2015).

أظهر كلٌّ من سيانيدين 3-O-غلوكوزيد ودلفينيدين 3-O-غلوكوزيد بتركيز 50 ميكرومولار تأثيراً ملحوظاً في تقليل تراكم الصفائح الدموية وإفراز الليزوزومات، وذلك عن طريق تقليل إفراز بيتا-ثرومبوغلوبولين، والسيروتونين، وأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)، وعامل الصفائح الدموية 4، وCD63، وعامل النمو المحول β1، بعد 40 دقيقة من تعرضها. كما وُثِّقت قدرة سيانيدين 3-O-غلوكوزيد على تحفيز انتاج الأديبونيكتين وتحسين توسّع الأوعية الدموية الناجمة عن تدفق الدم في الأنسجة الدهنية البشرية والخلايا البطانية الوعائية بعد 24 ساعة من التعرض (Song *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2014). بالإضافة إلى ذلك، فقد ثبت أن الأنثوسيانيدينات المستخرجة من التوت الأزرق (مثل السيانيدين والدلفينيدين والمالفيدين) تعمل على تثبيط تكوين الأنابيب بواسطة الخلايا البطانية للأوردة السرية عند تركيزات تتراوح بين 0.3 إلى 10 ميكرومولار (Matsunaga *et al.,* 2010).

في دراسة أجراها Chen و Stephen Inbaraj (2019) تم استخدام كبسولات تحتوي على 17 نوعاً من الأنثوسيانين النقي المستخلص من التوت البري (*Vaccinium myrtillus*) والكشمش الأسود (*Ribes nigrum*) في تجربة شملت 120 مريضاً، قُسِّموا إلى مجموعتين، تناولت المجموعة الأولى كبسولتين من الأنثوسيانين بجرعة 80 ملغ مرتين يومياً (320 ملغ/يوم)، بينما تناولت المجموعة السيطرة كبسولتين من الدواء الوهمي بنفس التركيز. أظهرت النتائج زيادة في كوليسترول البروتين الدهني عالي الكثافة (HDL) وتدفق الكوليسترول في مجموعة الأنثوسيانين مقارنةً بمجموعة السيطرة. كما لوحظ انخفاض في كوليسترول البروتين الدهني منخفض الكثافة (LDL) وإنزيم كوليسترول إستيراز البلازما -6 (CETP) في مجموعة الأنثوسيانين. في دراسات لاحقة استخدمت نفس المستخلص، سُجِّلت نتائج مماثلة لمستويات LDL وHDL، إلى جانب زيادة ملحوظة في HDL-PON1. بالإضافة إلى ذلك، سُجِّلت زيادة في cGMP في البلازما وتحسَّن في الاوعية المعتمدة على التدفق. بناءً على هذه النتائج، خلص الباحثون إلى أن نشاط انزيم PON1 قد يُحسِّن تدفق الكوليسترول وcGMP، مما قد يُسهم في تحسين توسع الأوعية الدموية المعتمد على البطانة من خلال تنشيط مسار إشارات NO-cGMP (Zhu *et al.,* 2011; Hassellund *et al.,* 2012).

درس Curtis وآخرون (2009) تأثير مستخلص التوت الأسود (*Sambucus nigra*) بجرعة (500 ملغ/يوم تحتوي على 125 ملغ أنثوسيانين) على صحة القلب والأوعية الدموية لدى النساء بعد انقطاع الطمث. أظهرت النتائج عدم وجود تغيرات ملحوظة في المؤشرات الحيوية للقلب أو وظائف الكبد والكلى لدى المجموعة المعالجة، مما يؤكد ان المستخلص آمن، ولكنه لم يُظهر فعالية في تغيير المؤشرات الحيوية للقلب والأوعية الدموية خلال فترة الدراسة (Curtis *et al.,* 2009).

2- تأثيرات مضادة للالتهابات

تتميز الأنثوسيانينات بخصائصها المضادة للالتهابات، والتي تنشأ نتيجة الاستجابة المناعية للأمراض المستعصية

(مثل أمراض المناعة الذاتية) أو الاستجابة غير الملائمة طويلة الأمد للمنبهات (مثل الحساسية). تتميز الحالات الالتهابية بظهور الوذمة والاحمرار والألم والحمى وفقدان الوظيفة، بالإضافة إلى ارتفاع مستويات السيتوكينات مثل عامل نخر الورم α-(TNF)، والإنترلوكين 6-(IL) و1β، وجذور أكسيد النيتريك (Szymanowska *et al.*, 2019). لذلك، من الضروري علاج هذه الحالات مبكراً نظراً لدورها في الاضطرابات المزمنة مثل السمنة والسكري والربو والنقرس والسرطان وتصلب الشرايين والأمراض العصبية.

اظهر الدلفينيدين 3-O-جلوكوزيد والسيانيدين انخفاض في مستويات البروتين التفاعلي-سي بنسبة 77% في خلايا سرطان الكبد البشري HepG2، بالإضافة إلى انخفاض إفراز جزيء التصاق الخلايا الوعائية-1 في الخلايا البطانية بنسبة 47% عند تركيز 50 ميكروغرام/مل، مقارنةً بمجموعة الخلايا غير المُعرَّضة (Zhu et al., 2013). ووجد Lee وآخرون (2017) أن خليط الأنثوسيانين p-Coumaroyl، المحتوي على بيتانين، وبيونانين، ومالفانين، وبيلانين، والمُستخلص من صنف البطاطس الأرجواني الداكن Jayoung، أظهر تأثيراً مثبطاً على النشاط النسخي وانتقال NF-κB في الخلايا البلعمية RAW264.7. وذكر Tavernetti وآخرون (2014) أن مستخلص التوت البري الغني بالأنثوسيانين يمتلك خصائص مضادة للالتهابات، مما يقلل من تنشيط NF-κB عند تعرض خلايا Caco-2 المعوية البشرية لمحفز الالتهاب IL-1β.

أظهرت دراسة سابقة أجراها Poulose وآخرون (2012) أن المعالجة المسبقة لخلايا الدبق الصغيرة BV-2 بمستخلص غني بالأنثوسيانين من لب فاكهة أساي تحمي من إطلاق أكسيد النيتريك الناتج عن عديد السكاريد الدهني (LPS)، وتقلل من إنتاج iNOS وتعبير COX-2. وذكر Xia وآخرون (2009) أن الفايونيدين 3-O-β-جلوكوزيد والسيانيدين 3-O-β-جلوكوزيد يمنعان بشكل كبير من تنشيط الخلايا البطانية المستحث بواسطة CD40 وموت الخلايا المبرمج. وأكدت دراسة أجراها Li وآخرون (2014) النشاط المضاد للالتهابات للجزء الغني بالأنثوسيانين من التوت الأحمر في خلايا RAW264.7.

ذكر Kim وآخرون (2012)، في دراستهم تأثير الأنثوسيانينات المشتقة من أغلفة بذور فول الصويا الأسود على الالتهاب وإصابات نقص التروية - إعادة التروية (أي نقص في تدفق الدم والأوكسجين). أظهرت نتائج تحليل لطخة ويسترن واختبارات نشاط لوسيفيراز (luciferase) أن الأنثوسيانينات تثبط بشكل ملحوظ مستويات جزيء الالتصاق الخلوي-1 (ICAM-1) وإنزيم سيكلوأوكسجيناز-2 (COX-2) المُحفَّز بواسطة عامل نخر الورم ألفا (TNF-α)، وذلك عبر آلية تعتمد على تفعيل NF-κB.

أفاد Yoon وآخرون (2018) أن الجمع بين مستخلصات أنثوسيانين فول الصويا الأسود والسيبروفلوكساسين (ciprofloxacin) أظهرا تأثيرا مضاداً للالتهابات ومضاداً للميكروبات أكثر وضوحاً في علاج التهاب البروستاتا الجرثومي المزمن مقارنةً بالسيبروفلوكساسين وحده, تشير هذه النتائج إلى أن الجمع بين الأنثوسيانين وأدوية أخرى مضادة للالتهابات قد يوفر استراتيجيات علاجية جديدة للأمراض المرتبطة بالالتهاب. وأظهرت دراسة أجراها Tung وآخرون (2024) أن المعالجة المسبقة بالمستخلص الخام لأغلفة بذور فول الصويا الأسود خففت بشكل فعال من تلف الكبد عن طريق تثبيط الوسائط الالتهابية وموت الخلوي المبرمج (apoptosis). يُعزى هذا التأثير الوقائي إلى المواد الكيميائية النباتية المضادة للالتهابات، وخاصةً دلفينيدين-3-O-جلوكوزيد، وسيانيدين-3-O-جلوكوزيد، والتي أظهرت إمكانات كبيرة في التخفيف من تلف الكبد المرتبط بالالتهاب.

استخلاص الأنثوسيانينات من الفواكه والخضروات

تؤثر تقنيات الاستخلاص بشكل مباشر على كفاءة وفعالية عملية استخلاص الأنثوسيانين، وهما عاملان رئيسيان يُسهمان في زيادة إنتاجيته. يمكن لطرق الاستخلاص الصديقة للبيئة أن تساعد في تقليل تحلل

الأنثوسيانين وزيادة معدلات الاستخلاص مما يساعدها في الحفاظ على خصائصها البيولوجية.

1. طريقة الاستخلاص بالمذيبات (SEM)

تعتمد طريقة الاستخلاص بالمذيبات على اختلاف ذائبية كل مكون في مذيب معين لتحقيق أعلى عملية استخلاص وفصل للمكونات. وتُعد هذه الطريقة الأكثر شيوعاً لاستخلاص الأنثوسيانين. وتصنف طرق الاستخلاص بالمذيبات إلى نوعين بناءً على درجة حرارة الاستخلاص إلى: الاستخلاص البارد والاستخلاص الساخن, والتي يمكن تقسيمها إلى استخلاص مائي واستخلاص بالمذيبات العضوية، حيث تُستعمل عدة مذيبات (مثل: الإيثانول, الميثانول, الأسيتون وغيرها) في عملية استخلاص الأنثوسيانين. كما تُضاف كميات قليلة من الأحماض العضوية إلى مذيب الاستخلاص نظراً لعدم استقرار الأنثوسيانين في البيئات المتعادلة أو القلوية. كما تؤثر عدة عوامل على كفاءة الاستخلاص مثل درجة طحن المادة ودرجة الحرارة ومدة الاستخلاص ونوع المذيب المستخدم (Qing-xia *et al.*,2020; Tena *et al.*,2022).

وأشار Palodo وآخرون (2019) في دراستهم إلى أن استخدام خليط مذيب يتكون من الميثانول والماء وحمض الأسيتيك بنسبة 0.5:20:80 (حجم/حجم/حجم) على التوالي مع التحريك المستمر لمدة ساعتين، كان له فعالية كبيرة في استخلاص الأنثوسيانين والمركبات الفينولية من قشور وبذور ثمار الجابوتيكابا (العنب البرازيلي) (*Plinia cauliflora*). وتوصل Demirdöven واخرون (2015) إلى أن استخدام الايثانول المحمض بحامض الفورميك كمذيب أسفر عن زيادة كفاءة استخلاص الأنثوسيانين من الملفوف الأحمر مقارنة بغيره من المذيبات الأخرى.

2. الاستخلاص بمساعدة الموجات فوق الصوتية

يستخدم الاستخلاص بمساعدة الموجات فوق الصوتية ترددات تتراوح بين 20 و50 كيلو هرتز لإنشاء تجاويف وتأثيرات حرارية وميكانيكية تؤدي إلى تدمير جدران الخلايا النباتية وتسريع إذابة المواد المذابة داخلها، وبالتالي المساهمة في تحسين استخلاص المكونات النشطة (Yusoff et al.,2022). اشارت العديد من دراسات حول تأثير قوة الموجات فوق الصوتية ومدة التعرض لها ونسبة المواد الصلبة إلى السائلة ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة على إنتاجيه الأنثوسيانين، ثم طُبقت أساليب تحسين متنوعة لتحسين عملية الاستخلاص لتحقيق أقصى إنتاجيه للأنثوسيانين (Xiao *et al.*,2023). أشار Espada-Bellido وآخرون (2017) إلى أن درجة الحرارة وتركيز المذيب يؤثران على كفاءة استخلاص الانثوسيانين عند استخدام تقنيات الاستخلاص بالموجات فوق الصوتية على لب التوت الأسود. وذكر Ravanvar وآخرون (2015) أن العوامل الرئيسية المؤثرة على كفاءة استخلاص الانثوسيانين من الملفوف الأحمر هي الوقت ودرجة الحرارة وشدة طاقة الموجات فوق الصوتية. بينما هدفت دراسة Kruszewski وآخرون (2024) إلى تقييم تأثير الاستخلاص بالموجات فوق الصوتية على محتوى الأنثوسيانين لمستخلصات ثفل الكشمش الأسود، وأظهرت النتائج أن الثفل يحتوي على نسبة عالية من الأنثوسيانين، بمتوسط محتوى بلغ 853.2 ملغم/100 غرام من الوزن الطازج.

3. الاستخلاص بمساعدة الميكروويف

تُعد تقنية الاستخلاص بمساعدة الموجات الميكروية أحد الوسائل الفعالة لاستخلاص المركبات الفعالة من الخلايا النباتية، إذ تعتمد هذه التقنية على توليد الطاقة داخل الخلايا المستهدفة، والتي تؤدي إلى ارتفاع سريع في درجة الحرارة، مما ينتج عنها زيادة في الضغط الداخلي للخلايا وضعف جدرانها، وبالتي تؤدي إلى تمزقها، ويحسن من انتقال المركبات إلى الوسط (Nour et al.,2021). قام Yiğit وآخرون (2022) باستخلاص الأنثوسيانين من الملفوف الأحمر باستخدام تقنية الاستخلاص بمساعدة الميكروويف، وأظهرت النتائج أن الظروف المثلى للاستخلاص (زمن الاستخلاص 4 دقائق، وطاقة الميكروويف 200 واط، ودرجة الحرارة 40 درجة مئوية، ونسبة المواد الصلبة إلى السائلة 1:20 غم/مل) أسفرت عن تركيز الأنثوسيانين بلغ 241.20 ملغم/لتر.

وفي دراسة أخرى لاستخلاص الأنثوسيانين من أغلفة بذور الفاصوليا الحمراء باستخدام تقنية الاستخلاص بمساعدة الميكروويف، أظهرت النتائج أن نسبة الانثوسيانين بلغت 32.08 ملجم/100 جم (Jin وآخرون، 2021). استخدم Xue وآخرون (2018) تقنية الاستخلاص بمساعدة الموجات فوق الصوتية لاستخلاص الأنثوسيانين من التوت الأزرق, فقد قيّموا تأثير طاقة الميكروويف على كفاءة الاستخلاص، ولاحظوا أن زيادة طاقة الميكروويف لم تؤثر على توزيع الطاقة، بل زادت من درجة الحرارة في مركز الوعاء، ووجدوا أن الحد الأقصى لدرجة الحرارة المطلوب لتحقيق إنتاج مثالي للأنثوسيانين هو 50.75 درجة مئوية، كما افترضوا أن تعديل طاقة الميكروويف سيحسن إنتاج الأنثوسيانين.

تتميز تقنية الاستخلاص بمساعدة الموجات الميكروية بعدة مزايا، الكفاءة العالية للاستخلاص، انخفاض استلاك المذيبات، وسهولة التشغيل، وسهولة التحكم في عملية الاستخلاص، وتوفير الطاقة، وحماية البيئة. ومع ذلك، تُنتج هذه التقنية درجات حرارة عالية في محلول الاستخلاص، مما قد يؤدي إلى تحلل المكونات الحساسة للحرارة، وهو ما يحد من تطبيقاتها في مجال الاستخلاص (Zhang وآخرون، 2021).

4. الاستخلاص بمساعدة الإنزيم

يعد الاستخلاص الأنزيمي طريقة سريعة وصديقة للبيئة، تعتمد بشكل رئيسي على إنزيمات مختلفة مثل البابايين والبكتيناز والسليوليز لتكسير جدران الخلايا النباتية مما يسهم في تحرير المركبات الفعالة وتعزيز انتشارها. تمتاز هذه العملية في انخفاض استهلاك الطاقة، وسرعة التنفيذ، وعائد مرتفع، وسهولة استعادة المستخلص (Puri *et al.*,2012; Nadar *et al.*,2018). قام Tan وآخرون (2020) بتحسين استخلاص الأنثوسيانين من قشور العنب بمساعدة الموجات فوق الصوتية، إذ أظهرت النتائج أن ظروف الاستخلاص المثلى (درجة حرارة 50 درجة مئوية، وقوة الموجات فوق الصوتية 400 واط، تركيز إنزيم البكتيناز 0.16%، ووقت استخلاص 0.16 ساعة) أدّت إلى الحصول على 3.01 ملغم/غرام من الأنثوسيانين. كما حسّن Shen وآخرون (2020) استخلاص الأنثوسيانين بمساعدة الإنزيمات من بقايا نبيذ التوت، حيث بلغ محتوى الانثوسيانين 19.51 ملغم/غم. ودرس Granato وآخرون (2022) تأثير عدة من انزيمات تجارية، مثل البكتينازات، والسليولازات، وبيتا-1،3-جلوكانازات، وليازات البكتين، على استخلاص الأنثوسيانين والبوليفينولات من كسب عصير الكشمش الأسود. وأشارت النتائج إلى أن بيتا-جلوكاناز ساهم في محتوى فينولي اعلا بلغ 1142 ملغم/100 غرام، بينما كان مستوى استخلاص الأنثوسيانين متقارباً بين جميع الإنزيمات، وبلغ حوالي 400 ملغم/100 غرام.

طرق التحليل الكمي للأنثوسيانين

يُعد تحليل الأنثوسيانين كمياً أمراً ضرورياً واساسياً في تقييم جودة الأغذية، وتطوير المنتجات الوظيفية، ودراسة فوائدها الصحية (Chen et al., 2019; Tziolas et al., 2021). اذ يُتيح قياس كل نوع من الأنثوسيانين فهماً أفضل لنشاطه البيولوجي، كما يُسهم التحليل الكمي في مراقبة جودة المواد الغذائية وطرق كشف الغش فيها. بالإضافة إلى ذلك، يُساعد في الحفاظ على الفوائد الصحية للأنثوسيانين أثناء إنتاج الأغذية وتخزينها، ويُسهّل من تطوير أغذية وظيفية غنية بالمركبات المُعززة للصحة (Fibigr *et al.,* 2017; Manzoor *et al.,* 2022; Liu *et al.,* 2020).

تُعَدّ طرق الكروماتوغرافيا أساسية لتحديد الأنثوسيانينات في المنتجات الأغذية، إذ تتيح فصل المركبات المعقدة بكفاءة عالية بناءً على خصائصها الكيميائية والفيزيائية. تتميز تقنيات الكروماتوغرافيا السائلة (LC) بحساسية وانتقائية ودقة عالية، مما يجعلها مثالية لتحليل المكونات المعقدة، مثل تلك الموجودة في الأغذية والمنتجات الطبيعية (Thuy *et al.,* 2021; Sun *et al.*, 2022). تشترك كروماتوغرافيا السوائل عالية الأداء (HPLC) وكروماتوغرافيا السوائل فائقة الأداء (UHPLC) في المبادئ الأساسية للفصل القائمة على الحجم والتفاعلات الكهروستاتيكية، ولكنهما تختلفان في متطلبات الضغط وحجم الجسيمات، حيث تعمل كروماتوغرافيا السوائل فائقة الأداء (UHPLC) عند ضغوط أعلى (من 10,000 إلى 15,000 رطل/بوصة

مربعة) وتستخدم جزيئات أصغر في الطور الثابت، مما تزيد من كفاءتها وسرعة الفصل وتعزز دقتها وخصوصاً للقمم المتقاربة (Yabré *et al.*, 2018; Klimczak *et al.,* 2015). تعمل تقنية كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة (TLC) على مبادئ كروماتوغرافية مماثلة، ولكنها تستخدم طبقة رقيقة من مادة ماصة على صفيحة كمرحلة ثابتة (Liu *et al.,* 2020).

استخدم Krishnan وآخرون (2020) طريقة HPLC-DAD المُعدّلة لتحديد الأنثوسيانين في فول الصويا المُتنوّع، شمل (elution profile) للأنثوسيانينات مركبات مثل سيانيدين-3-جلوكوزيد، ودلفينيدين-3-جلوكوزيد، وبيتونيدين-3-جلوكوزيد, إذ بينت النتائج وجود ارتباطات إيجابية بين محتوى الأنثوسيانين الأحادي. وقام Xue وآخرون (2021) بتوصيف الأنثوسيانينات الرئيسيين مثل سيانيدين-3-جلوكوزيد وسيانيدين-3-روتينوسيد في بقايا نبيذ التوت بواسطة HPLC-DAD. وقام Zhou وآخرون (2021) بتحسين ظروف الفصل الكروماتوغرافي باستخدام تقنية الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء (HPLC) لدراسة ستة انواع رئيسية من الأنثوسيانينات في التوت الأزرق وهي سيانيدين-3-O-جلوكوزيد، ودلفينيدين-3-O-جلوكوزيد، وفايونيدين-3-O-جلوكوزيد، وبيتونيدين-3-O-جلوكوزيد، وبيلاجونيدين-3-O-جلوكوزيد، ومالفيدين-3-O-جلوكوزيد. طور Mustafa وآخرون (2022) طريقة تحليل باستخدام الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء المقترنة بمطياف الكتلة المزدوج (HPLC-MS/MS) لتحديد 36 مركباً فينولياً، منها 7 انثوسيانينات في التوت الأزرق والفراولة وبعض منتجات الفواكه المحفوظة، وقد استعمل الباحثون عمود Synergy Polar–RP C18 مع طورين متحركين مكونين من حمض الفورميك بتركيز 0.1% والميثانول.

سعى Maciel-Silva وآخرون (2022) إلى استخلاص الأنثوسيانين من لب توت الأكاي (acai pulp) المجفف وشبه منزوع الدهن باستعمال طرق صديقة للبيئة, حيث استُخدمت تقنية الاستخلاص بالسائل المضغوط (PLE) بالتوازي مع استخلاص الطور الصلب (SPE) والتحليل المباشر باستخدام HPLC-PDA. وأسفرت هذه الطريقة عن الحصول على مستخلص عالي التركيز من الأنثوسيانينات، مما يدل على فعاليتها في عملية الاستخلاص. واستخدم Wang وآخرون (2024) تقنية كروماتوغرافيا السائل فائقة الأداء-مطياف الكتلة (UPLC-MS) لتحليل مستويات الأنثوسيانين في التوت الأزرق والتوت الأسود والتوت البري، وأظهرت النتائج احتواء التوت الأزرق والتوت الأسود على مستويات أعلى بكثير من السيانيدين-3-غالاكتوزيد والسيانيدين. وفي دراسة أجراها Li وآخرون (2024) استُخدمت تقنيتا UHPLC-DAD وUHPLC-QQQ/MS لتحديد نوعية وكمية الأنثوسيانينات في عينات الكركدية، وتم تحديد نوعين رئيسيين من الأنثوسيانينات وهما دلفينيدين-3-سامبيوسيد وسيانيدين-3-سامبيوسيد، وتراوح محتوى الأنثوسيانين الكلي في العينات بين أقل من 0.001% و2.372%.

الاستنتاجات

الأنثوسيانينات هي مركبات فينولية توجد على نطاق واسع في الأغذية والأدوية ومستحضرات التجميل وتتميز بخصائصها الصحية والوظيفية. يعتمد استخلاص الأنثوسيانين على عدة عوامل منها خصائص العينة والرقم الهيدروجيني (pH) ودرجة الحرارة والوقت ونوع المذيب المستخدم. كما تختلف تقنيات استخلاص الأنثوسيانين في الفواكه والخضروات تبعاً لكفاءتها في الحفاظ على ثبات مركباتها الفعالة. وتُعد تقنيات الاستخلاص بالموجات فوق الصوتية، والاستخلاص بالموجات الدقيقة، والاستخلاص بالسوائل فوق الحرجة أكثر كفاءة مقارنةً بالاستخلاص التقليدي باستخدام المذيبات. تتميز الأنثوسيانين بخصائصها المضادة للأكسدة والالتهابات، كما تساهم في تقليل مخاطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية، إلى جانب دورها المحتمل في الوقاية من بعض أنواع السرطان وتعزيز وظائف الدماغ، وخفض مستويات السكر في الدم. ومع ذلك، فإن ثبات الأنثوسيانين يتأثر بالعديد من العوامل البيئية، مثل الحموضة، ودرجة الحرارة، والتعرض للضوء، مما يستدعي تطوير تقنيات حديثة لتعزيز ثباتيته، خصوصًا في التطبيقات الغذائية والدوائية

المصادر

pomace. *Journal of CO2 Utilization*, *41*, 101259. https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101259

Capanoglu, E.; Nemli, E. and Tomas-Barberan, F. (2022). Novel Approaches in the Valorization of Agricultural Wastes and Their Applications. Journal of agricultural and food chemistry, 70(23): 6787–6804. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07104

Castañeda-Ovando, A.; de Lourdes Pacheco-Hernández, M.; Páez-Hernández, M. E.; Rodríguez, J. A. and Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. Food chemistry, 113(4): 859-871. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001

Chen, B. H. and Stephen Inbaraj, B. (2019). Nanoemulsion and nanoliposome based strategies for improving anthocyanin stability and bioavailability. Nutrients, 11(5): 1052. https://doi.org/10.3390/nu11051052

Chen, X.; Li, H.; Zhang, B. and Deng, Z. (2022). The synergistic and antagonistic antioxidant interactions of dietary phytochemical combinations. Critical reviews in food science and nutrition, 62(20): 5658-5677. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1888693

Curtis, P. J.; Kroon, P. A.; Hollands, W. J.; Walls, R.; Jenkins, G.; Kay, C. D. and Cassidy, A. (2009). Cardiovascular disease risk biomarkers and liver and kidney function are not altered in postmenopausal women after ingesting an elderberry extract rich in anthocyanins for 12 weeks. The Journal of nutrition, 139(12): 2266–2271. https://doi.org/10.3945/jn.109.113126

Das, A. K.; Nanda, P. K.; Madane, P.; Biswas, S.; Das, A.; Zhang, W. and Lorenzo, J. M. (2020). A comprehensive review on antioxidant dietary fibre enriched meat-based functional foods. Trends in Food Science & Technology, 99: 323-336. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.010

De la Rosa, Laura; Alvarez-Parrilla, Emilio and Aguilar, Gustavo. (2009). Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry,

Abdelrahman, K. N.; Ghany, A. G. A. A.; Saber, R. A.; Osman, A.; Sitohy, B. and Sitohy, M. (2024). Anthocyanins from pomegranate peel (Punica granatum), chili pepper fruit (Capsicum annuum), and bougainvillea flowers (Bougainvillea spectabilis) with multiple biofunctions: Antibacterial, antioxidant, and anticancer. Heliyon, 10(11). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32222

Albuquerque, B. R.; Pinela, J.; Pereira, C.; Mandim, F.; Heleno, S.; Oliveira, M. B. P. and Barros, L. (2024). Recovery of anthocyanins from Eugenia spp. fruit peels: a comparison between heat-and ultrasound-assisted extraction. Sustainable Food Technology, *2*(1): 189-201. https://doi.org/10.1039/D3FB00115F

Alwazeer, D.; Elnasanelkasim, M. A.; Çiğdem, A.; Engin, T. and LeBaron, T. W. (2023). Incorporation of molecular hydrogen into solvents increases the extraction efficiency of phenolics, flavonoids, anthocyanins, and antioxidants: The case of lemon peels. Frontiers in Sustainable Food Systems, 7, 1223027. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1223027

Boateng, I. D.; Mustapha, A.; Daubert, C. R.; Kuehnel, L.; Kumar, R.; Flint-Garcia, S. and Somavat, P. (2023). Novel two-pot microwave extraction of purple corn pericarp's phenolics and evaluation of the polyphenol-rich extract's product quality, bioactivities, and structural properties. Food and Bioprocess Technology, 16(11): 2668-2691. https://doi.org/10.1007/s11947-023-03072-7

Câmara, J. S.; Locatelli, M.; Pereira, J. A.; Oliveira, H.; Arlorio, M.; Fernandes, I. and Bordiga, M. (2022). Behind the scenes of anthocyanins—From the health benefits to potential applications in food, pharmaceutical and cosmetic fields. *Nutrients*, *14*(23), 5133. https://doi.org/10.3390/nu14235133

Campalani, C.; Amadio, E.; Zanini, S.; Dall'Acqua, S.; Panozzo, M.; Ferrari, S. and Perosa, A. (2020). Supercritical CO2 as a green solvent for the circular economy: Extraction of fatty acids from fruit

Fernández-Lara, R., Gordillo, B., Rodríguez-Pulido, F. J., González-Miret, M. L., del Villar-Martínez, A. A., Dávila-Ortiz, G., & Heredia, F. J. (2015). Assessment of the differences in the phenolic composition and color characteristics of new strawberry (*Fragaria x ananassa Duch*.) cultivars by HPLC–MS and Imaging Tristimulus Colorimetry. *Food Research International*, *76*, 645-653. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.038

Fibigr, J.; Šatínský, D. and Solich, P. (2017). A UHPLC method for the rapid separation and quantification of anthocyanins in acai berry and dry blueberry extracts. Journal of pharmaceutical and biomedical analysis, 143: 204–213. https://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.05.045

Gachovska, T.; Cassada, D.; Subbiah, J.; Hanna, M.; Thippareddi, H. and Snow, D. (2010). Enhanced anthocyanin extraction from red cabbage using pulsed electric field processing. Journal of Food Science, 75(6): E323-E329. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01699.x

Gardeli, C.; Varela, K.; Krokida, E. and Mallouchos, A. (2019). Investigation of anthocyanins stability from pomegranate juice (Punica Granatum L. Cv Ermioni) under a simulated digestion process. Medicines, 6(3): 90. https://doi.org/10.3390/medicines6030090

Gardeli, C.; Varela, K.; Krokida, E. and Mallouchos, A. (2019). Investigation of anthocyanins stability from pomegranate juice (Punica Granatum L. Cv Ermioni) under a simulated digestion process. Medicines, 6(3): 90. https://doi.org/10.3390/medicines6030090

Granato, D.; Fidelis, M.; Haapakoski, M.; dos Santos Lima, A.; Viil, J.; Hellström, J., ... & Pap, N. (2022). Enzyme-assisted extraction of anthocyanins and other phenolic compounds from blackcurrant (Ribes nigrum L.) press cake: From processing to bioactivities. Food Chemistry, 391: 133240. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133240

Nutritional Value, and Stability. P: 223-234. John Wiley & Sons. http://dx.doi.org/10.1002/9780813809397

Demirdöven, A.; Özdoğan, K. and Erdoğan-Tokatlı, K. (2015). Extraction of anthocyanins from red cabbage by ultrasonic and conventional methods: optimization and evaluation. Journal of Food Biochemistry, 39(5); 491-500. https://doi.org/10.1111/jfbc.12153

Diaconeasa, Z.; Leopold, L.; Rugină, D.; Ayvaz, H. and Socaciu, C. (2015). Antiproliferative and antioxidant properties of anthocyanin rich extracts from blueberry and blackcurrant juice. International Journal of Molecular sciences, 16(2): 2352-2365. https://doi.org/10.3390/ijms16022352

Dong, Y.; Wu, X., Han, L., Bian, J., He, C., El-Omar, E., ... & Wang, M. (2022). The potential roles of dietary anthocyanins in inhibiting vascular endothelial cell senescence and preventing cardiovascular diseases. *Nutrients*, *14*(14), 2836. https://doi.org/10.3390/nu14142836

DuPont, M. S., Mondin, Z., Williamson, G., & Price, K. R. (2000). Effect of variety, processing, and storage on the flavonoid glycoside content and composition of lettuce and endive. *Journal of agricultural and food chemistry*, *48*(9), 3957-3964. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf0002387

Ersus, S., & Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota L.*) by spray drier. *Journal of food engineering*, *80*(3), 805-812. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.009

Espada-Bellido, E., Ferreiro-González, M., Carrera, C., Palma, M., Barroso, C. G., & Barbero, G. F. (2017). Optimization of the ultrasound-assisted extraction of anthocyanins and total phenolic compounds in mulberry (Morus nigra) pulp. *Food chemistry*, *219*, 23-32. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.122

Jin, L. M., Bai, J., Sui, S. Y., Hu, Y. G., & Niu, G. C. (2021). Optimization of microwave–assisted extraction of anthocyanins from adzuki bean seed coat by response surface methodology and its stability. *Sci. Technol. Food Ind.*, *42*(6), 187-194. http://www.spgykj.com/article/doi/10.13386/j.issn1002-0306.2020050090

Kent, K., Hölzel, N., & Swarts, N. (2018). Polyphenolic compounds in sweet cherries: A focus on anthocyanins. In *Polyphenols: Mechanisms of Action in Human Health and Disease* (pp. 103-118). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813006-3.00010-6

Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*, *61*. https://foodandnutritionresearch.net/index.php/fnr/article/view/1257

Kim, H. J., Xu, L., Chang, K. C., Shin, S. C., Chung, J. I., Kang, D., Kim, S. H., Hur, J. A., Choi, T. H., Kim, S., & Choi, J. (2012). Anti-inflammatory effects of anthocyanins from black soybean seed coat on the keratinocytes and ischemia-reperfusion injury in rat skin flaps. *Microsurgery*, *32*(7), 563-570. https://doi.org/10.1002/micr.22019

Klimczak, I., & Gliszczyńska-Świgło, A. (2015). Comparison of UPLC and HPLC methods for determination of vitamin C. *Food chemistry*, *175*, 100–105. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.104

Krishnan, V., Rani, R., Pushkar, S., Lal, S. K., Srivastava, S., Kumari, S., ... & Sachdev, A. (2020). Anthocyanin fingerprinting and dynamics in differentially pigmented exotic soybean genotypes using modified HPLC–DAD method. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *14*, 1966-1975. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00443-y

Kruszewski, B., & Boselli, E. (2024). Blackcurrant Pomace as a Rich Source of Anthocyanins: Ultrasound-Assisted Extraction under Different

Hassanin, A. A.; Saad, A. M.; Bardisi, E. A.; Salama, A. and Sitohy, M. Z. (2020). Transfer of anthocyanin accumulating delila and rosea1 genes from the transgenic tomato micro-tom cultivar to moneymaker cultivar by conventional breeding. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 68(39): 10741-10749. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c03307

Hassellund, S. S.; Flaa, A.; Sandvik, L.; Kjeldsen, S. E. and Rostrup, M. (2012). Effects of anthocyanins on blood pressure and stress reactivity: a double-blind randomized placebo-controlled crossover study. *Journal of human hypertension*, *26*(6), 396–404. https://doi.org/10.1038/jhh.2011.41

He, J., & Giusti, M. M. (2010). Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. *Annual review of food science and technology*, *1*(1), 163-187. https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100754

Houghton, A., Appelhagen, I., & Martin, C. (2021). Natural blues: Structure meets function in anthocyanins. *Plants*, *10*(4), 726. https://doi.org/10.3390/plants10040726

Ito, V. C., & Lacerda, L. G. (2019). Black rice (Oryza sativa L.): A review of its historical aspects, chemical composition, nutritional and functional properties, and applications and processing technologies. *Food chemistry*, *301*, 125304. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125304

Jakobek, L., Šeruga, M., Medvidović-Kosanović, M. i Novak, I. (2007b). Antioxidant Activity and Polyphenols of Aronia in Comparison to other Berry Species. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, *72* (4), 301-306. Preuzeto s https://hrcak.srce.hr/19396

Jakobek, Lidija & Šeruga, Marijan & Medvidović-Kosanović, Martina & Novak Jovanović, Ivana. (2007a). Anthocyanin content and antioxidant activity of various red fruit juices. Deutsche Lebensmittel-Rundschau: Zeitschrift für Lebensmittelkunde und Lebensmittelrecht. 103. 58-64.

Physiology-Endocrinology and Metabolism, *306*(8), E975-E988. https://doi.org/10.1152/ajpendo.00699.2013

Maciel-Silva, F. W., Viganó, J., Castro, L. E., Sganzerla, W. G., Buller, L. S., Martínez, J., ... & Forster-Carneiro, T. (2022). Pressurized liquid extraction coupled in-line with SPE and on-line with HPLC (PLE-SPExHPLC) for the recovery and purification of anthocyanins from SC-CO2 semi-defatted Açaí (Euterpe oleracea). *Food Research International*, *160*, 111711. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111711

Manolescu, B. N., Oprea, E., Mititelu, M., Ruta, L. L., & Farcasanu, I. C. (2019). Dietary anthocyanins and stroke: A review of pharmacokinetic and pharmacodynamic studies. *Nutrients*, *11*(7), 1479. https://doi.org/10.3390/nu11071479

Manzoor, M. F., Hussain, A., Naumovski, N., Ranjha, M. M. A. N., Ahmad, N., Karrar, E., Xu, B., & Ibrahim, S. A. (2022). A Narrative Review of Recent Advances in Rapid Assessment of Anthocyanins in Agricultural and Food Products. *Frontiers in nutrition*, *9*, 901342. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.901342

Matsunaga, N., Tsuruma, K., Shimazawa, M., Yokota, S., & Hara, H. (2010). Inhibitory actions of bilberry anthocyanidins on angiogenesis. *Phytotherapy research: PTR*, *24 Suppl 1*, S42–S47. https://doi.org/10.1002/ptr.2895

Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., & Silva, P. (2020). Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules (Basel, Switzerland)*, *25*(17), 3809. https://doi.org/10.3390/molecules25173809

Mohammadi, N., Farrell, M., O'Sullivan, L., Langan, A., Franchin, M., Azevedo, L., & Granato, D. (2024). Effectiveness of anthocyanin-containing foods and nutraceuticals in mitigating oxidative stress, inflammation, and cardiovascular health-related biomarkers: a systematic review of Parameters. *Applied Sciences*, *14*(2), 821. https://doi.org/10.3390/app14020821

Lee, H. H., Lee, S. G., Shin, J. S., Lee, H. Y., Yoon, K., Ji, Y. W., Jang, D. S., & Lee, K. T. (2017). p-Coumaroyl Anthocyanin Mixture Isolated from Tuber Epidermis of Solanum tuberosum Attenuates Reactive Oxygen Species and Pro-inflammatory Mediators by Suppressing NF-κB and STAT1/3 Signaling in LPS-Induced RAW264.7 Macrophages. *Biological & pharmaceutical bulletin*, *40*(11), 1894–1902. https://doi.org/10.1248/bpb.b17-00362

Li, L., Wang, L., Wu, Z., Yao, L., Wu, Y., Huang, L., Liu, K., Zhou, X., & Gou, D. (2014). Anthocyanin-rich fractions from red raspberries attenuate inflammation in both RAW264.7 macrophages and a mouse model of colitis. *Scientific reports*, *4*, 6234. https://doi.org/10.1038/srep06234

Li, N., Simon, J. E., & Wu, Q. (2024). Determination of anthocyanins, organic acids, and phenolic acids in hibiscus market products using LC/UV/MS. *Journal of Food Science*, *89*(2), 1098-1113. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16909

Lila, M. A. (2004). Anthocyanins and human health: an in vitro investigative approach. *BioMed Research International*, *2004*(5), 306-313. https://doi.org/10.1155/s111072430440401x

Liu Y, Tan D, Shi L, Liu X, Zhang Y, *et al.* (2015). Blueberry Anthocyanins-Enriched Extracts Attenuate Cyclophosphamide-Induced Cardiac Injury. *PLOS ONE*, *10*(7): e0127813. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127813

Liu, B., Hu, T., & Yan, W. (2020). Authentication of the bilberry extracts by an HPLC fingerprint method combining reference standard extracts. *Molecules*, *25*(11), 2514. https://doi.org/10.3390/molecules25112514

Liu, Y., Li, D., Zhang, Y., Sun, R., & Xia, M. (2014). Anthocyanin increases adiponectin secretion and protects against diabetes-related endothelial dysfunction. *American Journal of*

chemistry, *56*(12), 4457-4462. https://doi.org/10.1021/jf800406v

Olivas-Aguirre, F. J., Rodrigo-García, J., Martínez-Ruiz, N. D. R., Cárdenas-Robles, A. I., Mendoza-Díaz, S. O., Álvarez-Parrilla, E., ... & Wall-Medrano, A. (2016). Cyanidin-3-O-glucoside: Physical-chemistry, foodomics and health effects. *Molecules*, *21*(9), 1264. https://doi.org/10.3390/molecules21091264

Padmanabhan, P., Correa-Betanzo, J., & Paliyath, G. (2016). Berries and related fruits. *Encyclopedia of Food and Health*, Pages 364-371, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00060-X

Paludo, M. C., Colombo, R. C., Teixeira Filho, J., Hermosín-Gutiérrez, I., Ballus, C. A., & Godoy, H. T. (2019). Optimizing the extraction of anthocyanins from the skin and phenolic compounds from the seed of jabuticaba fruits (Myrciaria jabuticaba (Vell.) O. Berg) with ternary mixture experimental designs. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, *30*(7), 1506-1515. https://doi.org/10.21577/0103-5053.20190047

Pérez-Gregorio, R. M., García-Falcón, M. S., Simal-Gandara, J., Rodrigues, A. S., & Almeida, D. P. (2010). Identification and quantification of flavonoids in traditional cultivars of red and white onions at harvest. *Journal of Food Composition and Analysis*, *23*(6), 592-598. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.08.013

Poulose, S. M., Fisher, D. R., Larson, J., Bielinski, D. F., Rimando, A. M., Carey, A. N., Schauss, A. G., & Shukitt-Hale, B. (2012). Anthocyanin-rich açai (Euterpe oleracea Mart.) fruit pulp fractions attenuate inflammatory stress signaling in mouse brain BV-2 microglial cells. *Journal of agricultural and food chemistry*, *60*(4), 1084–1093. https://doi.org/10.1021/jf203989k

Puri, M., Sharma, D., & Barrow, C. J. (2012). Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. *Trends in biotechnology*, *30*(1), 37-44. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.06.014

animal and human interventions. *Food & Function*. https://doi.org/10.1039/D3FO04579J

Munekata, P. E., Yilmaz, B., Pateiro, M., Kumar, M., Domínguez, R., Shariati, M. A., ... & Lorenzo, J. M. (2023). Valorization of by-products from Prunus genus fruit processing: Opportunities and applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, *63*(25), 7795-7810. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2050350

Mustafa, A. M., Angeloni, S., Abouelenein, D., Acquaticci, L., Xiao, J., Sagratini, G., Maggi, F., Vittori, S., & Caprioli, G. (2022). A new HPLC-MS/MS method for the simultaneous determination of 36 polyphenols in blueberry, strawberry and their commercial products and determination of antioxidant activity. *Food chemistry*, *367*, 130743. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130743

Nadar, S. S., Rao, P., & Rathod, V. K. (2018). Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology: A review. *Food Research International*, *108*, 309-330. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.006

Nour, A. H., Oluwaseun, A. R., Nour, A. H., Omer, M. S., & Ahmed, N. (2021). Microwave-assisted extraction of bioactive compounds. *Microwave heating. Electromagnetic fields causing thermal and non-thermal effects*, 1-31. https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.96092

Ockermann, P., Headley, L., Lizio, R., & Hansmann, J. (2021). A review of the properties of anthocyanins and their influence on factors affecting cardiometabolic and cognitive health. *Nutrients*, *13*(8), 2831. https://doi.org/10.3390/nu13082831

Ogawa, K., Sakakibara, H., Iwata, R., Ishii, T., Sato, T., Goda, T., ... & Kumazawa, S. (2008). Anthocyanin composition and antioxidant activity of the crowberry (*Empetrum nigrum*) and other berries. *Journal of agricultural and food*

inhibit platelet granule secretion in hypercholesterolaemia: Involving the signalling pathway of PI3K-Akt. *Thrombosis and haemostasis*, *112*(5), 981–991. https://doi.org/10.1160/TH13-12-1002

Sun, M. F., Jiang, C. L., Kong, Y. S., Luo, J. L., Yin, P., & Guo, G. Y. (2022). Recent Advances in Analytical Methods for Determination of Polyphenols in Tea: A Comprehensive Review. *Foods (Basel, Switzerland)*, *11*(10), 1425. https://doi.org/10.3390/foods11101425

Szymanowska, U., & Baraniak, B. (2019). Antioxidant and potentially anti-inflammatory activity of anthocyanin fractions from pomace obtained from enzymatically treated raspberries. *Antioxidants*, *8*(8), 299. https://doi.org/10.3390/antiox8080299

Tan, J., Li, Q., Xue, H., & Tang, J. (2020). Ultrasound-assisted enzymatic extraction of anthocyanins from grape skins: Optimization, identification, and antitumor activity. *Journal of Food Science*, *85*(11), 3731-3744. https://doi.org/10.1111/1750-3841.15497

Taverniti, V., Fracassetti, D., Del Bo', C., Lanti, C., Minuzzo, M., Klimis-Zacas, D., Riso, P., & Guglielmetti, S. (2014). Immunomodulatory effect of a wild blueberry anthocyanin-rich extract in human Caco-2 intestinal cells. *Journal of agricultural and food chemistry*, *62*(33), 8346–8351. https://doi.org/10.1021/jf502180j

Tena, N., & Asuero, A. G. (2022). Up-To-Date Analysis of the Extraction Methods for Anthocyanins: Principles of the Techniques, Optimization, Technical Progress, and Industrial Application. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, *11*(2), 286. https://doi.org/10.3390/antiox11020286

Thuy, N. M., Minh, V. Q., Ben, T. C., Thi Nguyen, M. T., Ha, H. T. N., & Tai, N. V. (2021). Identification of Anthocyanin Compounds in Butterfly Pea Flowers (*Clitoria ternatea* L.) by Ultra Performance Liquid Chromatography/Ultraviolet Coupled to Mass Spectrometry. *Molecules (Basel,*

Qing-xia, W. A. N. G., Jian-ying, L. I., Yao, C. H. E. N. G., Jin-jin, B. A. I., Yu-jia, L. U. O., & Wei-jian, G. A. O. (2020). High-efficiency solvent extraction of anthocyanins from Lycium ruthenicum Murr and its color stability. Natural Product Research and Development, *32*(1), 103. https://doi.org/10.16333/j.1001-6880.2020.1.015

Ravanfar, R., Tamadon, A. M., & Niakousari, M. (2015). Optimization of ultrasound assisted extraction of anthocyanins from red cabbage using Taguchi design method. *Journal of food science and technology*, *52*(12), 8140–8147. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1880-6

Santiago, M. C. P. D. A., Gouvêa, A. C. M. S., Godoy, R. L. D. O., Borguini, R. G., Pacheco, S., Nogueira, R. I., ... & Freitas, S. P. (2014). Analytical standards production for the analysis of pomegranate anthocyanins by HPLC. *Brazilian Journal of Food Technology*, *17*, 51-57. https://doi.org/10.1590/bjft.2014.008

Sasaki, N., & Nakayama, T. (2015). Achievements and perspectives in biochemistry concerning anthocyanin modification for blue flower coloration. *Plant and Cell Physiology*, *56*(1), 28-40. https://doi.org/10.1093/pcp/pcu097

Shen, M., Liu, K., Liang, Y., Liu, G., Sang, J., & Li, C. (2020). Extraction optimization and purification of anthocyanins from Lycium ruthenicum Murr. and evaluation of tyrosinase inhibitory activity of the anthocyanins. *Journal of food science*, *85*(3), 696-706. https://doi.org/10.1111/1750-3841.15037

Šimerdová, B., Bobríková, M., Lhotská, I., Kaplan, J., Křenová, A., & Šatínský, D. (2021). Evaluation of anthocyanin profiles in various blackcurrant cultivars over a three-year period using a fast HPLC-DAD method. *Foods*, *10*(8), 1745. https://doi.org/10.3390/foods10081745

Song, F., Zhu, Y., Shi, Z., Tian, J., Deng, X., Ren, J., Andrews, M. C., Ni, H., Ling, W., & Yang, Y. (2014). Plant food anthocyanins

Xiao, S., Wang, W., & Liu, Y. (2023). Research Progress on Extraction and Separation of Active Components from Loquat Leaves. *Separations*, *10*(2), 126. https://doi.org/10.3390/separations10020126

Xue, H., Tan, J., Li, Q., Tang, J., & Cai, X. (2021). Ultrasound-assisted enzymatic extraction of anthocyanins from raspberry wine residues: process optimization, isolation, purification, and bioactivity determination. *Food Analytical Methods*, *14*, 1369-1386. https://doi.org/10.1007/s12161-021-01976-8

Xue, H., Xu, H., Wang, X., Shen, L., Liu, H., Liu, C., ... & Li, Q. (2018). Effects of microwave power on extraction kinetic of anthocyanin from blueberry powder considering absorption of microwave energy. *Journal of Food Quality*, *2018*(1), 9680184. https://doi.org/10.1155/2018/9680184

Yabré, M., Ferey, L., Somé, I. T., & Gaudin, K. (2018). Greening Reversed-Phase Liquid Chromatography Methods Using Alternative Solvents for Pharmaceutical Analysis. *Molecules (Basel, Switzerland)*, *23*(5), 1065. https://doi.org/10.3390/molecules23051065

Yiğit, Ü., Turabi Yolaçaner, E., Hamzalıoğlu, A., & Gökmen, V. (2022). Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins in red cabbage by response surface methodology. *Journal of food processing and preservation*, *46*(1), e16120. https://doi.org/10.1111/jfpp.16120

Yoon, B. I., Bae, W. J., Choi, Y. S., Kim, S. J., Ha, U. S., Hong, S. H., ... & Kim, S. W. (2018). Anti-inflammatory and antimicrobial effects of anthocyanin extracted from black soybean on chronic bacterial prostatitis rat model. *Chinese journal of integrative medicine*, *24*, 621-626. https://doi.org/10.1007/s11655-013-1547-y

Yudina, R. S., Gordeeva, E. I., Shoeva, O. Y., Tikhonova, M. A., & Khlestkina, E. K. (2021). Anthocyanins as functional food components. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, *25*(2), 178-189. https://doi.org/10.18699/vj21.022

Switzerland), *26*(15), 4539. https://doi.org/10.3390/molecules26154539

Trendafilova, A., Ivanova, V., Trusheva, B., Kamenova-Nacheva, M., Tabakov, S., & Simova, S.(2022). Chemical composition and antioxidant capacity of the fruits of european plum cultivar "Čačanska Lepotica" influenced by different rootstocks, *Foods*, *vol. 11, no. 18*. https://doi.org/10.3390/foods11182844

Tung, Y. T., Tung, C. L., Hsieh, C. C., Huang, Y. C., Li, S., Tung, C. L., & Wu, J. H. (2024). Anti-Inflammatory Effects of Anthocyanin-Enriched Black Soybean Seed Coat (BSSC) Crude Extract on LPS-Induced Acute Liver Injury in Mice. *Antioxidants*, *13*(3), 311. https://doi.org/10.3390/antiox13030311

Tziolas, N., Ordoudi, S. A., Tavlaridis, A., Karyotis, K., Zalidis, G., & Mourtzinos, I. (2021). Rapid assessment of anthocyanins content of onion waste through visible-near-short-wave and mid-infrared spectroscopy combined with machine learning techniques. *Sustainability*, *13*(12), 6588. https://doi.org/10.3390/su13126588

Usenik, V., Stampar, F., & Kastelec, D. (2013). Phytochemicals in fruits of two Prunus domestica L. plum cultivars during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *93*(3), 681-692. https://doi.org/10.1002/jsfa.5783

Wang, J., Cheng, J., Zhu, J. X., Xu, G. H., Huang, W. F., & Yi, L. T. (2024). Identification, quantification, and antidepressant-like evaluation of anthocyanin-rich extracts from different dietary berries. *Food Science & Nutrition*. https://doi.org/10.1002/fsn3.4280

Xia, M., Ling, W., Zhu, H., Ma, J., Wang, Q., Hou, M., Tang, Z., Guo, H., Liu, C., & Ye, Q. (2009). Anthocyanin attenuates CD40-mediated endothelial cell activation and apoptosis by inhibiting CD40-induced MAPK activation. *Atherosclerosis*, *202*(1), 41–47. https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2008.04.005

chemistry, *214*, 119-128. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.073

Zhou, Y., Long, S., Xu, Q., Yan, C., Yang, J., & Zhou, Y. (2021). Optimization and application of HPLC for simultaneous separation of six well-known major anthocyanins in blueberry. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, *51*(10), 961-970. https://doi.org/10.1080/10826068.2021.1881906

Zhu, Y., Ling, W., Guo, H., Song, F., Ye, Q., Zou, T., ... & Yang, Y. (2013). Anti-inflammatory effect of purified dietary anthocyanin in adults with hypercholesterolemia: a randomized controlled trial. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, *23*(9), 843-849. https://doi.org/10.1016/j.numecd.2012.06.005

Zhu, Y., Xia, M., Yang, Y., Liu, F., Li, Z., Hao, Y., Mi, M., Jin, T., & Ling, W. (2011). Purified anthocyanin supplementation improves endothelial function via NO-cGMP activation in hypercholesterolemic individuals. *Clinical chemistry*, *57*(11), 1524–1533. https://doi.org/10.1373/clinchem.2011.167361

Yusoff, I. M., Taher, Z. M., Rahmat, Z., & Chua, L. S. (2022). A review of ultrasound-assisted extraction for plant bioactive compounds: Phenolics, flavonoids, thymols, saponins and proteins. *Food research international*, *157*, 111268. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111268

Zhang, P., & Zhu, H. (2023). Anthocyanins in plant food: current status, genetic modification, and future perspectives. *Molecules*, *28*(2), 866. https://doi.org/10.3390/molecules28020866

Zhang, X. X., Chai, Z., Feng, J., Cui, L., Li, C. Y., Li, Y., & Huang W. Y. (2021). Extraction and biological activity of *Arctium lappa* L. polysaccharides. *Food and Fermentation Industries*, *47(6):* 280-288 http://sf1970.cnif.cn/EN/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025173

Zhang, X., Xu, J., Xu, Z., Sun, X., Zhu, J., & Zhang, Y. (2020). Analysis of antioxidant activity and flavonoids metabolites in peel and flesh of red-fleshed apple varieties. *Molecules*, *25*(8), 1968. https://doi.org/10.3390/molecules25081968

Zhao, C. L., Yu, Y. Q., Chen, Z. J., Wen, G. S., Wei, F. G., Zheng, Q., ... & Xiao, X. L. (2017). Stability-increasing effects of anthocyanin glycosyl acylation. *Food*

ANTHOCYANINS IN FRUITS AND VEGETABLES: EXTRACTION, CHARACTERIZATION, AND HEALTH BENEFITS: A REVIEW

Jandal, M. M. J.[(1)]; Jandal, A. H. M.[(2)] and Jandal, A. J. M.[(2)]

[(1)] Department of Food Science and Technology, College of Food Science/Al-Shirqat, Tikrit University, Salah Al Deen- Al Shirqat, Iraq.

[(2)] Department of Dairy Science and Technology, College of Food Science/Al-Shirqat, Tikrit University, Salah Al Deen- Al Shirqat, Iraq.

*[1] Orcid.org/0009-0004-1560-5819.

ABSTRACT: Anthocyanins are plant pigments belonging to the flavonoid group, responsible for the colors of many vegetables, fruits, and grains. Their chemical structures vary depending on the nature of the functional groups attached to them, such as methoxyl and hydroxyl, which influence their color and stability. Fruits such as blueberries, raspberries, cranberries, blackberries, strawberries, cherries, red or black grapes, black and red plums, vegetables such as red cabbage, red onions, eggplant, red onions, purple potatoes, purple carrots, purple cabbage, and grains such as black rice, purple corn, and black soybeans are among the richest sources of anthocyanins. These compounds are characterized by their antioxidant activity, which can scavenge or reduce free radicals. Anthocyanins have been shown to have multiple health benefits, such as reducing the risk of heart disease, improving cognitive function, reducing inflammation, and regulating blood sugar levels. The study also included anthocyanin extraction methods (solvent extraction, ultrasound extraction, microwave-assisted extraction, and enzyme-assisted extraction).

Keywords: Anthocyanins, Antioxidant activity, Anthocyanin extraction, Quantitative anthocyanin analysis.